

快速路连续入口交通流对主线影响差异研究

周强

(武汉市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北 武汉 430023)

摘要: 分析了快速路连续入口匝道的交通流对主线的作用机理; 考虑速度、匝道距离等因素构建匝道影响指数, 量化研究上下游匝道车流对主线影响的差异; 选取武汉市西二环汉西一路和解放大道连续入口区域进行微观仿真, 结果表明, 下游匝道车流对主线交通运行的影响更大。

关键词: 城市交通; 快速路; 连续入口匝道; 匝道间距; 交通特性

中图分类号: U491.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)06-0028-04

快速路作为城市最高等级道路, 主要满足大规模、远距离出行需求, 对通行能力具有较高要求。为提高快速路利用效率, 国内许多大城市在规划、设计及建设城市快速路网阶段增加过多出入口, 导致出入合理的快速路匝道在某些路段形成连续入口, 如北京南四环光彩路、榴乡路辅路连续入口, 上海内环浦东南路、东方路连续入口。当相邻 2 个入口匝道间距较近时, 匝道车流对主线交通产生扰动, 且上下游匝道车流对主线的影响程度不相同。

连续匝道对主线交通流的影响有差异。Ni D. 等通过软件仿真分析了匝道与主线的相互作用, 结果表明下游匝道阻塞会对上游匝道交通产生较大影响, 但未对匝道普通状态下的情况进行影响差异分析。国内一些学者以先入后出型快速路连续匝道区域为对象展开研究, 如陈小鸿等对快速路典型匝道构型进行仿真, 结果表明不同设计速度下匝道车流对主线造成一定范围的车速降低, 降低程度与交织流量有关, 但对连续入口匝道的差异性研究相对薄弱。该文通过分析连续入口匝道流量对主线交通流的作用机理, 提出量化表示匝道流量对主线交通作用大小的影响指数, 研究上下游匝道车流对主线交通运行产生的影响差异。

1 连续入口匝道交通影响因素分析

1.1 匝道对主线的影响因素及范围

入口匝道的车辆汇入量是影响快速路主线交通的重要因素。匝道车流量较小时, 系统车辆自由度较高, 互相不受影响, 匝道车流对主线的影响不明显; 匝道车流汇入量较大会造成快速路外侧车道负荷增大, 使外侧车道负荷趋于拥堵, 在 UE 原则下外侧车道汇入点上游车辆会更多地选择调整到内侧车

道, 车辆需在内侧车道车辆间隙完成车道转换, 产生频繁的速度调整, 从而使交通流从稳定转变为紊乱; 汇入车流过大且超过下游通行能力时, 外侧车道车流溢出造成内侧车道阻塞, 随着拥堵上溯、系统锁死, 会导致更大范围的拥堵。匝道处车辆交织情况见图 1。

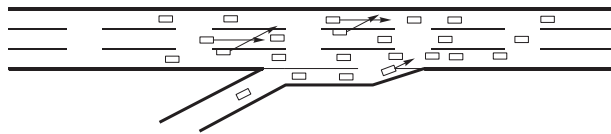


图 1 入口匝道影响区车流示意图

匝道对主线的影响范围及程度因交通流特性不同存在差异, 一般来说匝道流量越大, 对主线的影响范围越大。HCM 定义从入口匝道开始处到主线下游 450 m 内的外侧 1、2 车道为合流影响区域, 赵娜乐等将入口匝道上游 150 m、下游 760 m 段视为影响区域。该文选取入口匝道上游 150 m、下游 760 m 段作为影响区域。

入口匝道车流对主线的影响体现在速度和流量两方面。一般来说, 匝道的交通流量越大, 对主线车辆速度的影响越大, 主线车速降低越显著; 而匝道下游主线车流稳定后, 主线交通流量由于匝道车流的汇入会产生相应增长, 改变主线交通流特性。

1.2 连续入口匝道特性分析

目前部分城市为了增加快速路的利用效率, 布设高密度的匝道。当 2 条匝道距离较近时, 高峰期相邻匝道车流对主线交通的影响会在部分路段叠加, 应把 2 条匝道看成一个系统进行研究。该文主要研究 2 个连续入口匝道对主线交通的影响。

如图 2 所示, 连续入口匝道是指下游匝道入口处于上游匝道的的影响范围内。

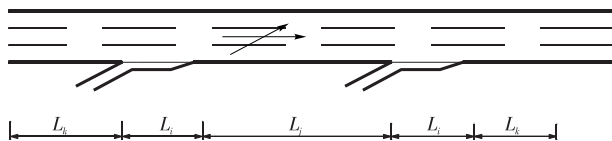


图2 连续入口匝道路段划分及交织示意图

根据快速路的相关设计和交通流数据分析,将快速路入口匝道影响区域分为三部分,分别为快速路交通流平稳运行的稳定路段、入口匝道下游因车辆汇入形成的车辆加减速路段、快速路在入口匝道下游因为换道形成的交织段。其中交织段最易受影响,是重点研究区域。当相邻匝道均有大量进入主线需求时,大量交通流在交织段容易在出入口匝道形成瓶颈,在高峰期极易造成堵塞,进而由单个快速路口的拥堵传递至周边区域,导致区域性拥堵(车辆到来速度远大于拥堵消散离开速度),影响交通系统运行效率。

快速路主线车速与匝道距离存在密切关系:车辆处于加速路段时,平均速度与间距呈现正相关,距离越小,平均速度越小;车辆经过加速路段后进入交织路段,此时车速震荡上升,最后达到稳定流的临界速度 v_m ;随着距离的增加,主线车速趋于稳定,车流形成稳定流,直到下一条匝道。车速随匝道的变化情况见图3。

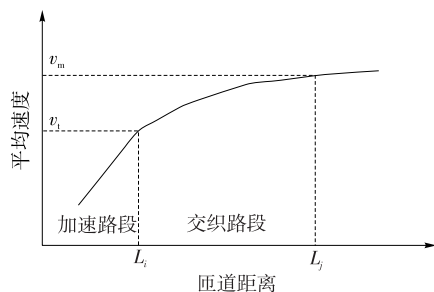


图3 外侧车道平均速度随交织段距离的变化

1.3 影响程度

连续匝道车流对主线的影响不仅体现为降低主线的车速,也体现为前后匝道之间的相互影响。当系统车流稳定且上下游匝道车流总体相当时,上游匝道车流降低交织路段车速并增大主线流量,下游匝道到来车流从稳定流转变为紊乱流,导致下游匝道车流对主线的影响程度更大(见图4)。

目前没有明确的指数综合量化匝道流量对主线影响的大小,仅通过单点速度等测值来表示匝道对主线的区域影响,存在较大误差,且不同车道受到匝道车流的影响不一样。为确定上下游匝道对主线区

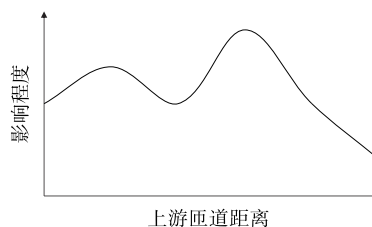


图4 主线受连续入口匝道车流影响的程度

域影响的强弱,并衡量匝道总体流量对主线的影响,以速度及匝道距离为主要考虑因素,引入匝道影响指数(Ramp Impact Index, RII),量化快速路受匝道影响的大小。其表达式如下:

$$RII_k = \frac{\sum_{i=1}^N v_m \times L_i}{\sum_{i=1}^N v_i \times L_i} \quad (1)$$

式中: RII_k 为匝道影响指数; k 为匝道流量; v_i 为路段 i 的平均速度; L_i 为路段 i 的长度。

通过建立仿真模型并运行分析得到相应数据,对匝道影响指数及系统总流量 Q 进行皮尔逊分析,结果见表1。表1表明匝道影响指数与系统总流量在5%置信水平上呈现反比关系。

表1 匝道影响指数与系统总流量分析

项目		RII	Q
RII	Pearson 相关性	1	-0.835 *
	显著性(双侧)		0.003
	N	15	15
Q	Pearson 相关性	-0.835 *	1
	显著性(双侧)	0.003	
	N	15	15

注: * 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

2 微观仿真分析

2.1 仿真参数及模型构建

根据 VISSIM 仿真模型构建需求,对研究区域的路网结构、车流参数(包括车流速度和车辆构成)等交通特性进行调查。

(1) 路网结构。所研究的快速路主线为双向六车道,车道宽 3.75 m;匝道为单车道,无信号控制,宽 3.75 m,平均坡度约 2.6%,匝道间距约 600 m。研究区域见图5。

(2) 车流参数。对研究区域的工作日连续高峰、平峰时间进行交通调查,采集数据并进行整理分析,标定模型车流参数。由于武汉特有的过江需求,

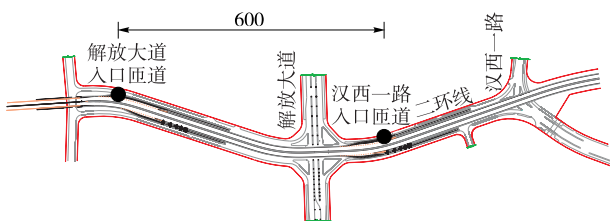


图5 武汉二环线汉西一路、解放大道入口示意图(单位:m)

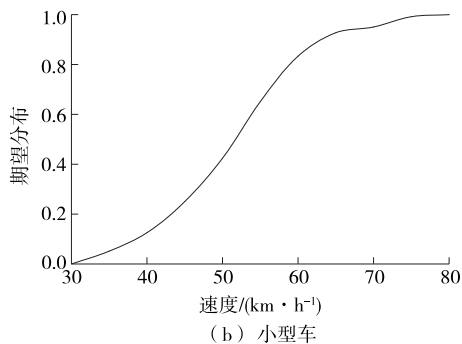
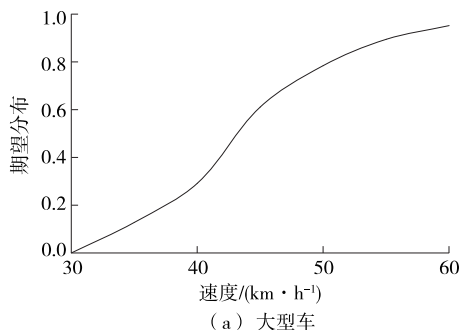


图6 研究区域内各型车辆期望速度分布



图7 研究区域(高架层)仿真模型

下的匝道影响指数。仿真时间为4 800 s,其中随机种子42,选取模型稳定后的1 200~4 800 s进行数据采集,采集间隔120 s;以第一条匝道上游200 m

快速路主线存在大型车(公交车)运行,数量约占全部车辆的6%。各型车辆期望速度见图6。

2.2 仿真分析

在现有调查的基础上构建 VISSIM 仿真模型(见图7),设置不同流量对比组进行仿真,分析匝道及主线不同流量下匝道对主线的影响,并与单匝道对主线的影响范围及程度进行对比,给出限制条件

为原点在外侧车道连续布设15个采集点,采集点间距100 m。

以匝道入口上下游200 m为影响范围计算匝道影响指数,得到各方案匝道对主线的影响情况。方案及结果见表2。

根据各组流量及影响指数情况,分别以主线、匝道、上下游流量比为自变量进行对比分析,得到匝道间主线交通特性(见图8~10)。

由图7可知:主线流量不同时,下游匝道车流对主线影响更大;匝道总流量及上下游匝道流量比保

表2 研究区域仿真试验方案的流量及影响指数

方案编号	主线流量/ ($\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$)	匝道流量/($\text{pcu} \cdot \text{h}^{-1}$)		匝道流量占 总流量比	上游影 响指数	下游影 响指数	影响指数
		上游	下游				
1	2 000	600	600	0.38	1.043	1.124	1.084
2	3 000	600	600	0.29	1.149	1.211	1.180
3	4 000	600	600	0.23	1.278	1.429	1.356
4	5 000	600	600	0.19	2.060	1.636	1.860
5	6 000	600	600	0.17	1.980	1.638	1.817
6	4 000	300	300	0.13	1.195	1.212	1.203
7	4 000	900	900	0.31	2.006	1.861	1.935
8	4 000	1 200	1 200	0.38	2.033	2.186	2.111
9	4 000	0	1 200	0.23	1.102	1.358	1.237
10	4 000	300	900	0.23	1.200	1.430	1.320
11	4 000	900	300	0.23	1.298	1.295	1.296
12	4 000	1 200	0	0.23	1.304	1.220	1.263

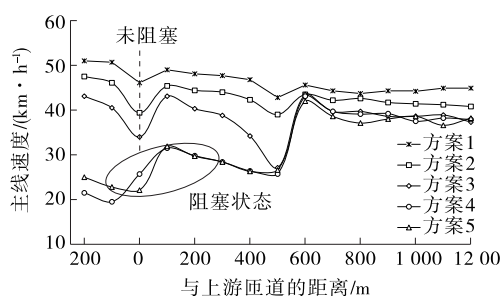


图8 不同主线流量下主线车速与匝道距离的关系

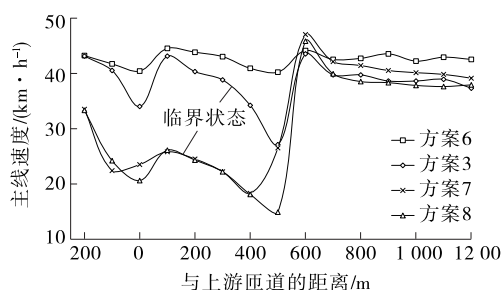


图9 不同匝道流量对主线车速的影响

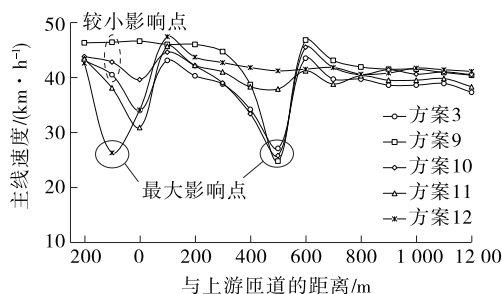


图10 不同分布的匝道流量对主线车速的影响

持不变且未造成主线阻塞时,下游匝道的到来车流为鲁棒性更低的高流量、低速度、不稳定流,此时相同条件下下游匝道车流会对主线产生更大影响;主线流量较大时,主线剩余通行能力不足,影响较大的下游匝道率先阻塞,并迅速上溯至上游匝道,此时拥堵上溯至上游,导致上游匝道对主线影响加大。

由图8可知:主线流量不变、上下游匝道流量相同时,匝道流量与对主线的影响成正比关系,匝道流量越大,越多的车流进入主线并对其产生扰动、交织,对主线影响越大;流量超过一定限值时,对主线影响会进一步扩大,并显著加大上游匝道拥堵,即产生拥堵蔓延。

由图9可知:主线流量及匝道总流量不变时,匝道车流对主线的最大影响均处在同一水平,而匝道车流集中的方案对主线总体影响更小,拥堵情况与

影响指数结果相同。

对比各方案,在连续入口匝道系统中,上下游匝道车流对主线的影响不同。系统畅通时,下游匝道单位流量对主线影响更大;系统阻塞时,上下游车流对主线的影响基本趋于一致。通过合理的管理措施调整上下游匝道流量比可降低匝道流量对主线的影响,最大化系统运行效率。

3 结论

该文探讨了连续匝道车流对主线速度、流量及交织等的影响,构建了以主线速度为主的反映匝道车流对主线影响程度的匝道影响指数。以武汉市二环线汉西一路、解放大道入口匝道区域为研究对象,基于调查和理论模拟,对匝道不同流量情况进行模拟分析,结果表明相同水平下下游匝道车流会对主线交通运行产生更大影响。交通管理部门可通过地面信号控制、交通管理控制、诱导显示屏等措施适当调整上下游匝道流量或流量比,降低连续入口匝道段车流对主线的影响。

参考文献:

- [1] CJJ 129—2009,城市快速路设计规程[S].
- [2] 李秀文,荣建,刘小明,等.快速路分、合流影响区交通特性及通行能力研究[J].公路交通科技,2006,23(1).
- [3] Ni D, Leonard J D. Traffic and road planning simulation; simulation of freeway merging and diverging behavior[A]. Proceedings of the 35th Winter Simulation Conference; Driving Innovation[C]. 2003.
- [4] 陈小鸿,肖海峰.交织区交通特性的微观仿真研究[J].中国公路学报,2001,14(增刊1).
- [5] HCM2010, Highway capacity manual. 5th ed[S].
- [6] 赵娜乐.基于物理属性的城市快速路交通流特征参数模型[D].北京:北京交通大学,2010.
- [7] Downs A. Can traffic congestion be cured[J]. The Washington Post, 2006(4).
- [8] 袁绍欣.城市交通拥堵传播机理及其控制策略研究[D].西安:长安大学,2012.
- [9] 魏代梅,陆键,陆林军,等.先入后出型城市快速路匝道组合的最佳间距[J].公路交通科技,2013,30(6).
- [10] 钟连德,李秀文,荣建,等.城市快速路基本路段通行能力的确定[J].北京工业大学学报,2006,32(7).